

Згідно з формою № Н-9.02
Наказ Міністерства освіти і
науки, молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та
безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему «Дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини
вільхи»

Виконав: студент 6 курсу, групи ДМТ-61м

Спеціальність 187 «Деревообробні та
меблеві технології»

Бабій М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Андрашек Й.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Ференц О.Б.
(прізвище та ініціали)

Львів 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут	Деревообробних технологій і дизайну
Кафедра	Технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності
Освітньо-кваліфікаційний рівень	Магістр
Спеціальність	187 «Деревообробні та меблеві технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Кшивецький Б.Я.

“25” вересня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бабію Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: “Дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи”

Керівник роботи: Андрашек Йосип Володимирович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від “10” червня 2025 року № С- 344

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи _____

Виконати теоретичні і експериментальні дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи вологим способом. Приділити увагу до визначення кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи в залежності від умов подальшої експлуатації.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

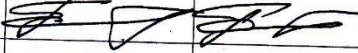
1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.

2. Дослідження технологічного процесу термічно модифікування вільхових пиломатеріалів.

3. Охорона праці і довкілля.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Конструкція термокамери з басейном для зволоження та слайди з презентації результатів теоретичних і експериментальних досліджень

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доц. Сомар Г.В.		

7. Дата видачі завдання _____ 03.09.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз стану питання	до 01.10.25	
	Експериментальні дослідження	до 25.10.25	
	Обробка результатів експериментальних досліджень	до 15.11.25	
	Оформлення пояснювальної записки і підготовка презентації	до 15.12.25	

Студент

Керівник роботи


 (підпис) Бабій М.С.
 (прізвище та ініціали)


 (підпис) Андрашек Й.В.
 (прізвище та ініціали)

Анотація

В магістерській дипломній роботі на тему: «Дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи» приведений літературний огляд зміни хімічних і фізичних властивостей термічно модифікованої деревини вільхи в залежності від температури термічної модифікації і способу здійснення процесу термооброблення. Виконаний аналіз зміни хімічних властивостей на основі термічної деградації і розкладу основних деревинних інгредієнтів. Встановлені основні фактори впливу на зміну фізичних властивостей термічної модифікації деревини вільхи, приведені результати зміни фізико-механічних властивостей.

Розроблена методика виконання виробничих експериментальних досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи. Викона статистична обробка результатів виробничих експериментальних досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи.

Встановлені залежності кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки для вологого способу термооброблення. Приведені результати розподілу кінцевої вологості вільхових пиломатеріалів за товщиною в залежності від умов технологічного процесу термічної модифікації.

За результатами виробничих експериментальних досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи розроблені рекомендації для технологічного процесу термомодифікації вологим способом з метою досягнення необхідних значень кінцевої вологості в залежності від температури термічної модифікації і умов подальшого використання виробів з термічно модифікованої деревини вільхи.

Ключові слова: термічна модифікація, кінцева вологість, поля розподілу кінцевої вологості термічно модифікованої вільхи, технологічна витримка.

Annotation

The master's thesis on the topic: "Study of the final moisture content of thermally modified alder wood" provides a literature review of changes in the chemical and physical properties of thermally modified alder wood depending on the temperature of thermal modification and the method of heat treatment. An analysis of changes in chemical properties based on thermal degradation and decomposition of the main wood ingredients is performed. The main factors influencing the change in the physical properties of thermal modification of alder wood have been established, the results of changes in physical and mechanical properties have been given.

A method for performing industrial experimental studies of the final moisture content of thermally modified alder wood has been developed. Statistical processing of the results of production experimental studies of the final moisture content of thermally modified alder wood was performed.

The dependencies of the final moisture content of thermally modified alder wood on the temperature of thermal modification and the duration of technological exposure for the wet method of heat treatment have been established. The results of the distribution of the final moisture content of alder lumber by thickness depending on the conditions of the technological process of thermal modification are presented.

Based on the results of production experimental studies of the final moisture content of thermally modified alder wood, recommendations have been developed for the technological process of thermal modification in a wet way in order to achieve the required values of final moisture depending on the temperature of thermal modification and the conditions for further use of products made of thermally modified alder wood.

Keywords: thermal modification, final humidity, fields of distribution of final humidity of thermally modified alder, technological exposure.

Зміст

1. Термічне модифікування деревини вільхи.....	8
1.1. Особливості термічного модифікування вільхи.....	8
1.2. Фізико-хімічні властивості термічно модифікованої вільхи.....	11
1.3. Термокамера ТзОВ “Дерево і профіль”.....	20
1.4. Мета роботи і задачі досліджень.....	24
2. Методика і результати виробничих досліджень.	25
2.1. Матеріали і порядок досліджень	25
2.2. Результати виробничих досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи.....	28
2.3. Висновки і рекомендації.....	36
3. Охорона праці	37
3.1. Техніки безпеки з експлуатації термокамери	37
3.2. Екологічна безпека термічної модифікації деревини.....	40
Список використаних джерел.....	41
Додатки.....	47

Вступ.

Деревина – це технологічний, екологічно чистий, відновлюваний матеріал, що використовується в багатьох галузях життєдіяльності людини. Доступність, хороші фізико-механічні властивості та декоративні якості забезпечили їй високий рівень затребуваності. У той же час незадовільна стійкість до механічних, атмосферних, температурних і біологічних факторів впливу, суттєво обмежують сфери її застосування. Існуючі проблеми вирішували шляхом: антисептичного просочення, захисту поверхні різними матеріалами (які зазвичай створювали волого- та повітронепроникні плівки), використанням повільно ростучих дорогих сортів тропічної деревини, створенням композиційних матеріалів, де в якості наповнювача використовувалося подрібнене дерево, а в якості матриці формальдегідні або інші смоли, заміною на металеві або металопластикові конструкції на основі полівінілхлориду, тощо. Всі переваги і недоліки цих методів очевидні. В умовах зростання вимог, щодо екологізації промисловості та обмежень використання матеріалів, що містять шкідливі хімічні компоненти, виникла потреба у розробленні нових методів модифікування деревини та деревинних матеріалів, які б базувались на принципах екологічності та ресурсоощадності. Тому, в першій чверті минулого століття почалися інтенсивні дослідження по розробці методів істотного покращення експлуатаційних характеристик деревини та підвищення її довговічності. І тільки до кінця 90-х років був розроблений ряд технологій модифікації деревини, цілеспрямованої зміни її властивостей, що лежать в основі сучасних виробничо-промислових процесів – термічне модифікування, гідрофобізація, просочування рослинними оліями, модифікація ацетилюванням та ін.

1. Термічне модифікування деревини вільхи.

1.1. Особливості термічного модифікування вільхи.

Деревина вільхи використовується у виробництві меблів, фанери та панелей внутрішнього оздоблення завдяки своєму червонуватому відтінку, який є естетично привабливим та легким в обробці. Однак вона також відносно крихка. Вільху також використовують для виробництва деревного вугілля та його похідних, а також для пакувальних матеріалів та як джерело дров. Завдяки своїй стійкості до тривалого впливу вологи, деревина вільхи підходить для виготовлення таких виробів, як бочки, дерев'яний посуд та ложки. Проте, її ширше застосування на відкритому повітрі обмежене низькою стійкістю до біологічного руйнування. Існує досить багато інформації про деревину вільхи (*Alnus*) та про те, як вона реагує на термічну модифікацію (ТМ) або інші термічні обробки. Вона не така поширена, як деякі дуже популярні тверді породи деревини (осика, бук, береза, дуб, тополя), але поглиблені дослідження охоплюють зміну кольору, довговічність, зміни механічних/фізичних властивостей, всихання тощо. Існує обмежена кількість досліджень щодо ТМ деревини вільхи в атмосфері азоту.

Існують результати з досліджень коли деревину вільхи обробляли в автоклаві під тиском насиченою парою (або сумішшю насиченої пари та повітря) за температури 95–125 °С протягом різної тривалості (3, 6, 9, 12 годин). Дослідження показало, що насичена пара може суттєво змінити естетичні, фізичні та хімічні властивості деревини вільхи, що робить її придатною для застосувань, що потребують покращення кольору та зниження гігроскопічності, водночас визнаючи незначні компроміси в щільності та кислотності [21]. Також вільху термічно обробляли за атмосферного тиску при 165 °С та в атмосфері безперервного потоку пари при 210 °С. Термічна обробка в атмосфері пари значно знизилася міцність та в'язкість деревини, особливо для вільхи. Оскільки вільха має вищий вміст геміцелюлози (які є більш термолабільними), її механічні властивості більше погіршувалися при

вищій термічній обробці порівняно з деревиною м'яких порід [22]. В роботі [23] зразки деревини чорної акації, вільхи, західного колючого ялівцю та сливи піддавали термічній обробці за температур 130 °C та 160 °C протягом 3 та 7 годин. Термообробка значно покращила стабільність розмірів та якість поверхні всіх чотирьох порід деревини, про що свідчило зменшення набухання та більш гладкі поверхні, що спостерігалися після обробки. Твердість зменшилася для всіх протестованих порід за всіх протестованих обробок [3]. Вільха, червоний дуб, південна сосна та жовта тополя піддавалася термічній обробці в лабораторній шафі за температури 120 та 190 °C протягом 3 або 6 годин. Твердість усіх протестованих порід деревини знизилася після обробки, але вільха зазнала меншого впливу, ніж більш пористі тверді породи деревини за випробуваних режимів обробки. Термічна обробка покращила якість поверхні, зробивши деревину більш гладкою, що корисно для застосувань, де важлива обробка (меблі, шпон тощо) [24].

Приведені результати досліджень термооброблених кілків [25] з деревини вільхи за трьох температур: 150 °C, 180 °C та 200 °C, з технологічною витримкою протягом 2, 6 або 10 годин. З термічно модифікованими кілками проводили польові випробування в контактi з землею та піддавали природному вивітрюванню та гниттю протягом 3 років. Термообробка за підвищених температур та протягом триваліших періодів підвищила довговічність вільхи при контактi з землею. Незважаючи на покращення, термообробка не повністю захищала деревину при контактi з землею; захисні покриття або оздоблення все ще рекомендуються для конструкційно вимогливого/довговічного використання [25]. В роботі [26] деревину вільхи обробляли термовакuumним способом при температурі 200 °C протягом 4 годин, а потім покривали комерційними покриттями для дослідження стабільності кольору та хімічних змін в умовах штучного вивітрювання. Термовакuumна обробка не призвела до покращення стабільності кольору деревини вільхи. Оброблена деревина демонструвала значні відмінності

кольору порівняно з необробленим контролем, що свідчить про неефективність обробки у запобіганні деградації, індукованій УФ-випромінюванням [26]. Термовакуумна обробка продемонструвала помітний позитивний ефект під час механічної обробки стосовно затуплення інструментів, що призвело до значного покращення кінцевої шорсткості поверхні. Тим не менш, якість поверхні вільхи серцеподібної (*Alnus cordata*) була найнижчою серед усіх протестованих порід деревини, незважаючи на її класифікацію як деревини із загалом хорошою оброблюваністю [27].

Існує кілька досліджень термомеханічного ущільнення та ТМ (термомеханічної обробки) шпону з деревини вільхи. Шпон вільхи, бука, берези та сосни піддавали гарячому пресуванню за комбінацій температури (100, 150, 200 °C) та тиску (4, 8, 12 МПа) протягом 4 хвилин. Усі породи продемонстрували значне збільшення блиску після ущільнення. Найбільші значення блиску були досягнуті при 200 °C та 12 МПа для всіх порід та всіх кутів вимірювання [28]. Тонкий шпон з вільхи та бука піддавали термічній обробці за температури 190 °C протягом 5, 10, 20, 40 хвилин для кількісної оцінки зміни кольору. Оскільки вільха сильніше знебарвлюється при одній і тій самій обробці, це може бути особливо корисним, коли потрібна сильна зміна кольору. Спектральні зміни вказували на деградацію геміцелюлози (особливо) та деякі зміни лігніну, але целюлоза зазнала меншого впливу [29].

В інших дослідженнях вивчали вплив включення деревного борошна з вільхи для обробки поверхонь до деревно-пластикових композитів з поліетилену високої щільності (HDPE). Включення деревного борошна з вільхи для обробки поверхонь до матриці HDPE дещо покращило термічну стабільність та зменшило водопоглинання порівняно з необробленим деревним борошном, хоча й за рахунок деякої втрати механічної міцності при високому вмісті наповнювача [30]. Деревину американської вільхи (*Alnus rubra*) обробляли термообробкою при 140 °C протягом 4, 8 та 13 годин. Помірна термообробка протягом тривалішого часу (особливо 13 годин) значно

покращила розмірну стабільність та зменшила поглинання вологи, внутрішні напруження без значних втрат механічної міцності [31].

Деревину вільхи модифікували за допомогою подвійної обробки — термообробки (ТМ) при 200 °С протягом 4 годин у термовакuumному циліндрі та просочення 0,1%, 0,5% та 10% розчином алкілкетенового димеру (АКД) для покращення гідрофобності поверхні та змочуваності. Обидва способи обробки окремо покращували водонепроникні властивості деревини вільхи, але їх поєднання призвело до найбільшої водостійкості, що зробило деревину придатною для зовнішнього застосування, такого як меблі, будівництво або упаковка [32].

1.2. Фізико-хімічні властивості термічно модифікованої вільхи.

Вплив підвищених температур під час термічної обробки може призвести до зменшення розмірів деревини, що потенційно знижує вихід матеріалу та зменшує загальну цінність кінцевої продукції. Результати дослідження свідчать про те, що ця усадка переважно пов'язана з руйнуванням структурних полімерів у клітинних стінках в результаті термічної обробки. Після термічної обробки дерев'яні дошки з вільхи демонстрували помітне зменшення розміру, особливо вздовж тангенціальної та радіальної площин (Рисунок 1.1,). Зміни розмірів були більш виражені тангенціально, коливаючись від 2,2% до 3,5%, тоді як радіальна усадка була порівняно меншою, від 0,7% до 1,3%. Загалом, комбінована усадка вздовж цих двох напрямків призвела до зменшення об'єму приблизно на 2,8% до 4,7%. Розмірні результати, що спостерігалися за режиму 160/120 та обох обробок при 170 °С, не показали значущих статистичних відмінностей [36 , 37]. Втрата маси (ВМ) деревини вільхи після ТМ коливалася від 4,6% до 8,6% залежно від застосованих умов обробки. На основі значень ВМ можна виділити три різні групи інтенсивності обробки. Найнижча ВМ спостерігалася за найм'якшого режиму (160/60). Проміжні режими (160/120 та 170/30) та більш інтенсивні обробки (160/180 та 170/60) дали порівнянні результати без статистично значущих відмінностей між ними.

Порівняно з даними попередніх досліджень [36 , 37], деревина європейської осики та срібної берези показала більшу втрату маси за тих самих параметрів модифікації (від 5,4% до 12%). Ці результати свідчать про те, що в умовах тиску та закритого термотрансферного шару вільха демонструє кращу стійкість до термічного розкладання та структурних змін порівняно з іншими твердими породами деревини.

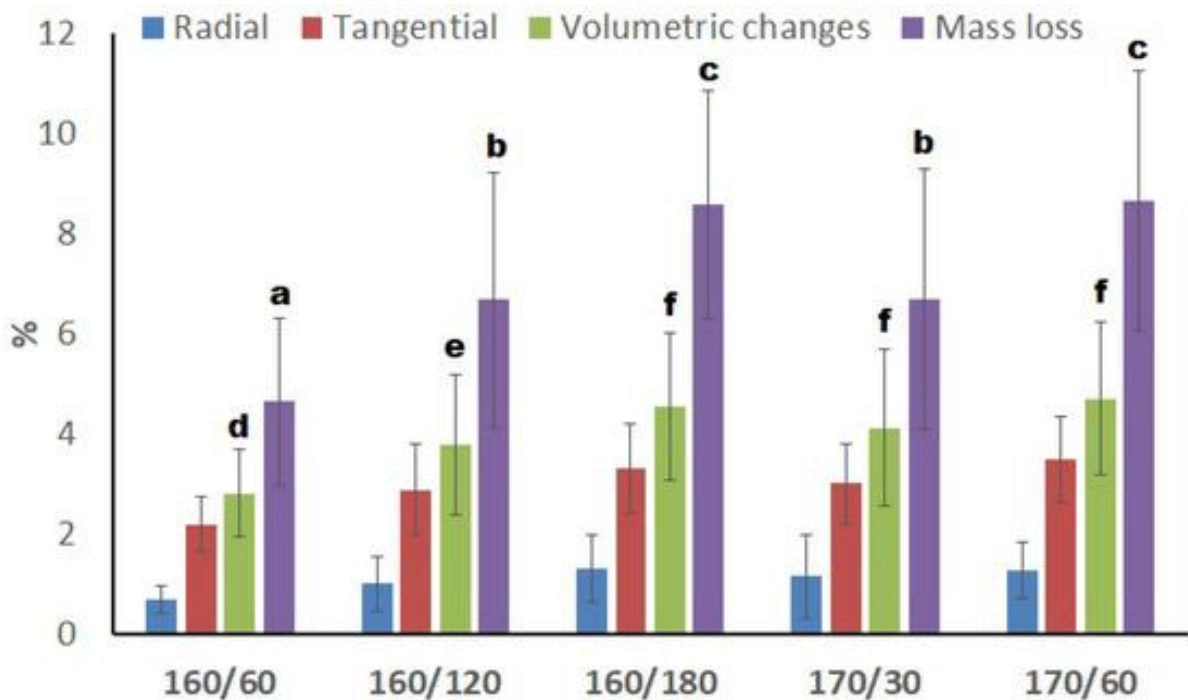


Рисунок 1.1. Зміни розмірів деревини вільхи в тангентальному та радіальному напрямках, а також зміни об'єму та густини після термічної модифікації. Відмінності у втраті ваги позначені літерами a, b та c, тоді як відмінності у зміні об'єму позначені літерами d, e та f.

Термічно модифікована деревина вільхи призначена для використання на відкритому повітрі, де вона регулярно піддається впливу вологості навколишнього середовища та безпосередньому контакту з водою. Тому її здатність підтримувати розмірну стабільність у циклічних умовах, що чергуються між зволоженням та повним висиханням, спричиненим сонячним світлом та вітром, має особливе значення. Розмірна стабільність термічно модифікованої деревини допомагає зменшити ризик розтріскування поверхні

під впливом вологи. Тріщини є критичними шляхами для проникнення води та діють як початкові місця для мікробної колонізації. Крім того, розмірні коливання та поверхневі тріщини можуть погіршити стан захисних покриттів, нанесених на деревину, що потенційно може призвести до їх погіршення стану та, зрештою, до відшаровування від поверхні.

Рівноважна вологість (РВ) є фундаментальним параметром, що впливає на механічну цілісність, стабільність розмірів та біологічну довговічність деревини. Нижчі рівні РВ корелюють зі зниженою гігроскопічністю, тим самим зменшуючи ступінь об'ємних коливань, викликаних вологою, включаючи набухання та усадку, спричинені коливаннями відносної вологості навколишнього середовища.

При рівнях відносної вологості (ВВ) 65%, 75% та 98% рівноважна вологість (ЕМС) необробленої деревини вільхи становила 11,4%, 12,6% та 21,9% відповідно (Рисунок 1.2.) [36 , 37]. Термічне оброблення знизило рівноважну вологість ЕМС до діапазонів 4,8%–6,5%, 5,5%–7,1% та 10,2%–13,3% за відповідних рівнів відносної вологості, що відображає зниження на 37%–57% порівняно з необробленими зразками. Подібне зниження рівноважної вологості (ЕМС) було зареєстровано для термічно модифікованої осики європейської, берези сріблястої та сосни звичайної в атмосфері азоту зі зниженням на 44%–65%, 51%–64% та 29%–56% відповідно за ідентичних умов відносної вологості повітря [36 , 37]. Результати рівноважної вологості (ЕМС) для термічно модифікованої деревини були розділені на три групи залежно від інтенсивності обробки: найм'якший режим (160/60) показав найвищі значення ЕМС (6,5%–13,3%), проміжні режими (160/120 та 170/30) демонстрували статистично нерозрізнені значення рівноважної вологості (ЕМС) від 5,7% до 12,2%, а найсуворіші режими (160/180 та 170/60) мали найнижчі значення ЕМС, які коливалися від 4,9% до 10,4%.

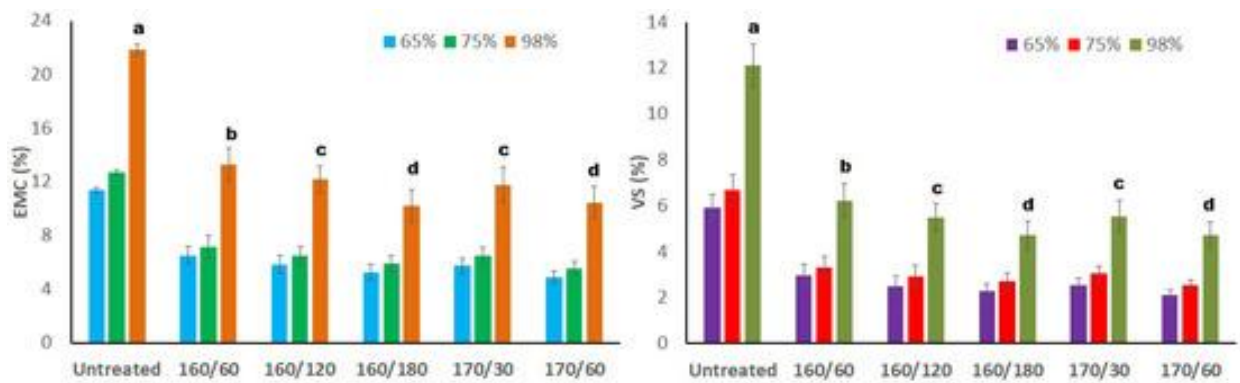


Рисунок 1.2. Рівноважна вологість (EMC) та об'ємне набухання (VS) термічно модифікованої деревини вільхи за різної відносної вологості. Відмінності за відносної вологості 98% позначені літерами a, b, c та d.

Об'ємне набухання (VS) немодифікованої деревини вільхи становило 5,9%, 6,7% та 12,1% при рівнях відносної вологості 65%, 75% та 98% відповідно. Натомість, зразки з термічно модифікованою вільхою демонстрували значно нижчі значення об'ємного набухання (VS), коливаючись від 2,1% до 3,0% за відносної вологості 65%, з 2,5% до 3,3% за відносної вологості 75% з 4,7% до 6,2% за відносної вологості 98%. Це вказує на те, що термічне модифікування зменшує об'ємне набухання (VS) приблизно на 48%–64%, незалежно від вологості навколишнього середовища.

Орієнтовно в такому діапазоні спостерігалось зменшення твердості за Брінеллем. Деревина вільхи вважається м'якою та легкою в обробці, але також механічно крихкою, що обмежує діапазон її застосування. Тому будь-який процес модифікації деревини повинен бути спрямований на підтримку або навіть підвищення її механічної міцності. На жаль, більшість процесів модифікації деревини призводять до зниження механічної міцності. Отже, вкрай важливо вибирати параметри модифікації, які не порушують структурну цілісність деревини до такої міри, щоб вона стала надмірно крихкою. З точки зору практичного застосування, зниження міцності на вигин до 30% вважається прийнятним, що було встановлено як максимально допустимий поріг.

Термічна модифікація деревини вільхи призвела до загального збільшення модуля пружності (МОЕ) порівняно з необробленим контрольним значенням 7700 МПа. Серед протестованих режимів лише режим 160/180 забезпечив значення МОЕ (8100 МПа), які статистично не відрізнялися від контролю. Всі інші комбінації обробки призвели до помітного підвищення жорсткості, при цьому МОЕ коливався в межах від 8400 до 8800 МПа.

Американська вільха піддавалася термічній обробці (ТМ) за 140 °С протягом 4, 8 та 13 годин. Цікаво, що 8-годинна обробка призвела до помітного покращення міцності на вигин, при цьому міцність на згин (MOR) збільшилася приблизно на 14,5%. Хоча МОЕ дещо коливалася протягом тривалості обробки, загальна жорсткість залишалася практично незмінною. Ці спостереження показують, що незначний термічний вплив при 140 °С навіть до 13 годин не погіршує, а може навіть покращити механічні властивості вільхи з точки зору властивостей згину [31]. Деревина вільхи піддавалася термічній обробці (ТМ) при 150 °С, 180 °С та 200 °С протягом 2, 6 та 10 годин. Після обробки зразки встановлювали в контакт з землею та піддавали природним впливам зовнішнього повітря протягом трьох років. У деяких режимах високої жорсткості лише термічна обробка призводила до зниження MOR до 50%. Подальший вплив навколишнього середовища спричиняв подальшу механічну деградацію у всіх групах обробки. Тим не менш, зразки з термічним покриттям (ТМ) постійно демонстрували вищий залишковий коефіцієнт міцності (MOR) порівняно з їхніми необробленими аналогами, що свідчить про покращене збереження структури за тривалих умов зовнішнього середовища [25]. Серед усіх оцінених видів червона вільха продемонструвала найнижчий динамічний МОЕ, що становив 9,17 ГПа. Помірний тепловий режим при 190 °С призвів до незначного зниження динамічного МОЕ на 4,9% для червоної вільхи, тоді як вплив 212 °С призвів до набагато різкішого зниження ~19%. Ці результати вказують на чітку чутливість жорсткості червоної вільхи до термічної обробки вищої інтенсивності [33]. Загалом,

можна зробити висновок, що ТМ в паровому середовищі при температурі 160–210 °С, як правило, призводить до дещо більшого зниження MOR порівняно з ТМ в атмосфері азоту під тиском при 160–170 °С.

Термічна модифікація змінила відносний розподіл основних компонентів у деревині вільхи, викликаючи структурні зміни в матриці клітинної стінки, оскільки збільшувалися як пікова температура (T_{max}), так і тривалість T_{max} . На противагу цьому, вільха демонструвала молекулярну обробку (ML), головним чином через термічно індуковану деградацію ключових структурних полімерів, зокрема ксилану та пов'язаних з ним ацетильних функціональних груп, що призвело до помітного збільшення вмісту екстрактивних речовин (Таблиця 1.1). Найбільш виражені зміни, спричинені термічною модифікацією, спостерігалися в рівнях ацетонорозчинних екстрактивних речовин, а також у вмісті глюкозних, ксиланових та ацетильних груп. Навпаки, зміни вмісту лігніну та маннану були порівняно незначними. Концентрація екстрактивних речовин ацетону в деревині термічно модифікованої вільхи значно зросла, досягнувши значень від 4,9% до 8,9%, що становить 2-3-кратне збільшення порівняно з немодифікованою деревиною (2,6%). Порівнянна тенденція була виявлена в деревині берези срібної та сосни звичайної, що піддавалися аналогічним умовам термічної модифікації. Ксилан у листяних породах деревини зазнає значного термічного розкладу під час обробки, і частина його продуктів розкладу видаляється як частина екстрактивної фракції [45]. Варіації умов термічної модифікації можуть призвести до різних хімічних реакцій серед листяних порід деревини. Вільху піддавали контрольованому нагріванню в лабораторній шафі за температури 120 °С та 190 °С протягом 3 або 6 годин, спостерігалися ознаки зміни клітинної стінки. Однак ступінь структурних пошкоджень був менш вираженим, ніж для червоного дуба за порівнянних умов [34].

Таблиця 1.1.

Хімічний склад деревини вільхи немодифікованої і термічно модифікованої за різних умов термічної модифікації

Режим лікування	Хімічні компоненти (%)					
	Ацетонові екстракти	Лігнін	Глюкан	Ксилан	Маннан	Ацетильні групи
Необроблені	2,6 ± 0,2	27,1 ± 0,3	43,9 ± 0,1	16,8 ± 0,1	1,5 ± 0,1	4,1 ± 0,1
160/60	4,9 ± 0,2 *	28,3 ± 0,4 *	46,6 ± 0,6 *	15,2 ± 0,1 *	1,2 ± 0,1 *	3,1 ± 0,1 *
160/120	6,2 ± 0,1 *	27,7 ± 0,4	45,6 ± 0,2 *	14,3 ± 0,1 *	1,2 ± 0,1 *	2,7 ± 0,1 *
160/180	8,7 ± 0,2 *	28,8 ± 0,1 *	47,4 ± 0,1 *	12,1 ± 0,1 *	0,9 ± 0,1 *	2,1 ± 0,1 *
170/30	5,7 ± 0,1 *	28,9 ± 0,2 *	46,0 ± 0,3 *	13,8 ± 0,1 *	1,0 ± 0,1 *	2,3 ± 0,1 *
170/60	8,9 ± 0,2 *	28,3 ± 0,1 *	46,7 ± 0,1 *	12,4 ± 0,1 *	1,1 ± 0,1 *	2,3 ± 0,1 *

Рівень лігніну в термічно модифікованій деревині вільхи значно збільшився після більшості умов обробки, за винятком режиму 160/120, де суттєвих змін не спостерігалось. У різних режимах обробки відносна частка лігніну залишалася загалом постійною. Оскільки термічна деградація в першу чергу впливає на аморфні області целюлози, модифікована деревина демонструє вищу відносну кількість кристалічної целюлози. Таке селективне розкладання аморфних полісахаридів призводить до відносного збагачення лігніном. Тим не менш, навіть зі збільшенням концентрації лігніну, він зазнає помітних хімічних перетворень під час термічної обробки, включаючи як деполімеризацію, так і подальші процеси реполімеризації [46]. Ступінь хімічного руйнування позитивно корелювався як з температурою обробки, так і з тривалістю впливу [25].

Термічна модифікація призвела до помітного зниження вмісту ксилану в деревині вільхи, зменшивши його з 16,8% у необроблених зразках до діапазону 12,1%–15,2% в оброблених. Найбільш інтенсивні режими (160/180 та 170/60) призвели до найнижчих рівнів ксилану, що коливався від 12,1% до 12,4%. За вмістом ксилану зразки термічно модифікованої вільхи можна розділити на три категорії. Найм'якша обробка (160/60) зберегла найвищу

концентрацію ксилану (15,8%). Проміжні режими (160/120 та 170/30) дали статистично подібні значення від 13,8% до 14,3%. Найжорсткіші обробки, як зазначалося, призвели до найбільш значного зниження. Ці результати підтверджують висновок про те, що зменшення вмісту ксилану сприяє зменшенню поглинання води та покращенню розмірної стабільності в деревині термічно модифікованої вільхи. Деревину вільхи піддавали термічній обробці в автоклаві під тиском з використанням насиченої пари або пароповітряної суміші за температур від 95 до 125 °C протягом тривалості обробки 3, 6, 9 або 12 годин. Було зафіксовано зниження сухої щільності до 4,6%, що супроводжувалося зниженням рН приблизно з 4,9 до 3,1. Цей зсув у бік підвищеної кислотності відображає поточну термічну деградацію, зокрема розкладання геміцелюлози, розвиток кон'югованих карбонільних структур та зміни в мережі лігніну [21]. Тонкі шпони вільхи піддавали впливу термічної обробки при 190 °C протягом 5, 10, 20 та 40 хвилин. Тепловий вплив призвів до помітного зниження поглинання на довжинах хвиль, що відповідають функціональним групам, пов'язаним з геміцелюлозою, зокрема тим, що пов'язані з коливаннями C=O та OH. Одночасно, підвищене поглинання в спектральних областях, пов'язаних з ароматичними зв'язками C–N та C=C, свідчило про реакції конденсації в структурі лігніну. Ці реакції пов'язані з утворенням хромофорних систем, які сприяють спостережуваному потемнінню матеріалу. Натомість, смуги поглинання, характерні для целюлози, демонстрували мінімальні зміни, що свідчить про те, що целюлоза залишалася практично незмінною за застосованої температури та короткого часу обробки [29].

Термічна модифікація деревини вільхи призвела до суттєвого зниження вмісту ацетильних груп, знизившись з 4,1% у необроблених зразках до 2,1-3,1% після обробки. Найбільш інтенсивні режими ТМ (160/180 та 170/60) призвели до найнижчих рівнів ацетильних груп, які коливалися від 2,1% до 2,3%. Ці зниження точно відображали тенденції, що спостерігалися у вмісті

ксилану, що вказує на сильну кореляцію між двома компонентами. Цей взаємозв'язок свідчить про те, що вміст ацетильних груп у деревині термічно модифікованої вільхи може служити корисним індикатором для прогнозування властивостей, пов'язаних з вологістю (ASE, CWTWC та EMC). Подібні закономірності деградації ксилану та ацетильних груп також спостерігалися в деревині берези срібної та сосни звичайної, що піддавалися подібним умовам ТМ [45].

Усадка деревини вільхи після термообробки коливалася від 4,6% до 8,6% залежно від застосованих умов обробки. Зміни розмірів після термообробки були більш вираженими в тангентальному напрямку. Загалом, комбінована усадка вздовж цих двох напрямків призвела до зменшення об'єму приблизно на 2,8% - 4,7%.

Термічна модифікація мала мінімальний вплив на радіальну твердість поверхні, тоді як усі термічні обробки призвели до помітного зниження твердості на тангентальному напрямку.

Найбільш виражені зміни хімічного складу внаслідок термічної модифікації спостерігалися в рівнях ацетонорозчинних екстрактивних речовин, а також у вмісті глюкоанових, ксиланових та ацетильних груп. Натомість, зміни вмісту лігніну та маннану були порівняно незначними.

Термічна модифікація суттєво покращує стабільність розмірів та вологостійкість деревини вільхи. Темно-коричневий колір, що розвивається під час термічної модифікації, підвищує її візуальну привабливість, роблячи її конкурентоспроможною альтернативою дорожчим деревним матеріалам.

1.3. Термокамера ТзОВ “Дерево і профіль”

Товариство з обмеженою відповідальністю “Дерево і профіль” знаходиться в місті Ківерці Волинської області. Статут підприємства сформований 100 відсотково з іноземних інвестицій (Франція). До основних видів продукції підприємства відносяться:

- Клеєний віконний євробрус який стовідсотково експортується у Францію де використовується для виробництва вікон з алюмінієвими накладками з зовнішньої сторони яка безпосередньо контактує з зовнішнім середовищем;
- Термічно модифікована деревина з вільхи, акації і берези яка використовується для виготовлення садового паркету, вагонки для оздоблення саун і банних приміщень, столів і інших садовопаркових виробів;
- Стильні та сучасні стільниці з масивної деревини (слеби) в епоксидній смолі для офісних та житлових приміщень.

Для виробництва термічно модифікованої деревини на підприємстві використовується реконструйована термокамера фірми Суховій ще перших випусків де нагрівання термокамери передбачалося за допомогою теплових електричних нагрівачів (ТЕНів) які розташовані на боковій частині камери знизу.

Термічна модифікація деревини на підприємстві виконується в термокамері в якій були виконані роботи з реконструкції корпусу камери, теплової системи і системи автоматичного контролю і управління. Загальний вигляд термокамери ТзОВ “Дерево і профіль” показаний на рисунку 1.3. Для зменшення теплових втрат в технологічному процесі термічної модифікації товщина шару мінеральної вати була збільшена з 100 до 200 міліметрів. Ізоляційний шар мінеральної вати укладений по всій поверхні термокамери включаючи двері для завантаження. Нагрів термокамери залишився без змін,

тобто нагрівання відбувається за допомогою електричних нагрівачів які розташовані збоку камери з двох сторін в нижній частині.

Термокамера ТзОВ “Дерево і профіль”



6

Рисунок 1.3. Загальний вигляд термокамери ТзОВ “Дерево і профіль”.

Корпус камери має циліндричну форму з внутрішнім діаметром 1,5 метра і внутрішньою робочою довжиною – 2,5 метри. Завантаження штабелів пиломатеріалів чи заготовок відбувається за допомогою рейкового візка. Пиломатеріали які підлягають термічному модифікуванню вкладаються в штабелі на прокладках. Товщина прокладок залежить від товщини пиломатеріалів. В переважній більшості випадків товщина дощок складає 30 міліметрів і відповідно товщина прокладок – 20 міліметрів.

Для забезпечення рівномірності розподілу температурного поля за об’ємом камери і об’ємом штабеля в термокамері в торцевій частині змонтований вентилятор. Рух агента оброблення через штабель – поперечно-горизонтальний. Двигун приводу вентилятора розташований ззовні камери і приводить в рух вал вентилятора через клиноремінну передачу. Така конструкція дозволяє використовувати звичайний електродвигун який не працює в агресивному середовищі термокамери.

Термокамера являє собою герметичну посуду. Вона оснащена вакуумною помпою для створення розрідження на початку процесу термічної модифікації. Перед підвищенням температури за допомогою вакуумної помпи в камері створюється розрідження (вакуум) глибиною 0,15 бара. Тобто розрідження в камері складає 15% від атмосферного. Розрідження в термокамері здійснюється для видалення залишкового кисню з системи та зменшення окислювальної деградації під час обробки. Іншими словами для попередження займання деревини в процесі термічної модифікації перед початком підвищення температури в термокамері створюється розрідження 0,15 бара. Слід зауважити, що коли температура в термокамері піднімається до 80-90°C то тиск стає рівним атмосферному. Це відбувається внаслідок випаровування вологи з пиломатеріалів які підлягають термічній модифікації. В подальшому в міру збільшення температури тиск також зростає. Для встановлення тиску на рівні 1,1-1,15 бар в термокамері встановлений запобіжний клапан для підтримування тиску на заданому рівні. Швидкість підняття температури в термокамері складає 10°C на годину. Після досягнення необхідного рівня температури термічної модифікації здійснюється технологічна витримка тривалістю 6-18 годин в залежності від товщини пиломатеріалів і породи деревини. Технологічна витримка необхідна для вирівнювання температури за товщиною пиломатеріалів, що підлягають термічній модифікації. Якщо температура в центральній частині пиломатеріалу досягає рівня на 3-4 °C нижче ніж в термокамері то тривалість витримки достатня для забезпечення рівномірності зміни кольору деревини за товщиною. Але існує інше питання яке визначається тривалістю технологічної витримки за заданої температури. Це стосується кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи мокрим способом. Основний спосіб термічної модифікації – це сухий спосіб, його сутність полягає в тому, що в процесі нагрівання деревини в термокамері вологість деревини доводиться до абсолютно сухого стану. Після завершення термічної модифікації виконується операція кінцевого кондиціонування для досягнення необхідного значення

кінцевої вологості в залежності від умов майбутньої експлуатації виробів з термічно модифікованої деревини. Власне від цього і назва способу – сухий. В нашому випадку термічна модифікація проходить в середовищі водяної пари під тиском 1,1-1,15 бар і деревина не висушується до абсолютно сухого стану. Виходячи з цього і спосіб називається – вологим. Кінцева вологість термічно модифікованої деревини в даному способі термічної модифікації залежить від трьох основних факторів, а саме:

- Температури термічної модифікації;
- Тривалості технологічної витримки за заданої температури;
- Початкової вологості деревини яка завантажується в термокамеру.

В літературі практично відсутні результати чи рекомендації стосовно режимів термічної модифікації вологим способом для деревини вільхи. Виходячи з цього була сформована мета і задачі досліджень стосовно розробки рекомендацій з термічного модифікування деревини вільхи вологим способом для забезпечення необхідної кінцевої вологості.

1.4. Мета роботи і задачі досліджень.

Виходячи з приведеного в попередніх підрозділах аналізу термічної модифікації деревини вільхи вологим способом була сформована мета магістерської роботи, визначені об'єкт і предмет дослідження, а також розролено перелік завдань які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети магістерської роботи.

Мета роботи – розробити рекомендації для досягнення необхідної кінцевої вологості в процесі термічного модифікування деревини вільхи вологим способом.

Для досягнення вище приведеної мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- за результатами літературного огляду встановити закономірності зміни хімічних і фізичних властивостей деревини вільхи в процесі термічної модифікації;
- розробити методику досліджень кінцевої вологості деревини вільхи в процесі термічної модифікації вологим способом;
- виконати виробничі дослідження з розподілу полів кінцевої вологості за товщиною в процесі термічної модифікації деревини вільхи вологим способом;
- зробити статистичне оброблення результатів виробничих експериментальних досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи;
- запропонувати технологічні рекомендації щодо досягнення необхідної кінцевої вологості деревини вільхи в процесі термічного модифікування вологим способом.

Об'єкт дослідження – виробничий процес термічного модифікування деревини вільхи вологим способом.

Предмет дослідження – кінцева вологість і розподіл її за товщиною термічно модифікованої деревини вільхи.

2. Методика і результати виробничих досліджень.

2.1. Матеріали і порядок досліджень

Деревина європейської вільхи яка використовувалася дослідженні походила з лісових насаджень, розташованих у центральній та східній частині Волинської області. Для проведення виробничих досліджень для кожного завантаження термокамери з термічної модифікації (ТМ) використовували по шість дощок з вільхи, кожна з номінальними розмірами $2000 \times 100 \times 30$ мм. Відбирали три дошки радіального і три дошки тангентального розпилювання. Усі дошки, відібрані для випробувань, були візуально оглянуті та підтверджені на відсутність макроскопічних дефектів, таких як сучки, відхилення волокон, включення кори, синява пляма, грибкове гниття, пошкодження комахами, тріщини або спотворення розмірів. Для термічного модифікування вільхові пиломатеріали (дощки) попередньо висушували в конвективній сушильній камері до вологості $12 \pm 2\%$. Дощки розміщувалися в штабелі посередині ширина пакета в трьох місцях за висотою: знизу (другий ряд), посередині висоти і зверху (другий ряд зверху). В кожному вказаному місці за висотою штабеля розміщали по дві пронумеровані дошки: радіального і тангентального випилювання. Процес термічного модифікування виконувався за трьох різних температур: 170; 180 і 190°C. Технологічна витримка за кожної температури термічного модифікування складала 6; 12 і 18 годин. Слід зауважити, що рівень температури термічної модифікації вибирається замовником в залежності від бажаної зміни кольору термічно модифікованої деревини вільхи. Тривалість технологічної витримки за певної температури вимагає проведення додаткових виробничих експериментальних досліджень. Для вимірювання середньої (інтегральної) кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи з кожної відібраної (нумерованої) дошки відбиралася секції. По дві секції випилювалися з країв дощок на відстані 150 міліметрів від торця і дві секції з середини довжини дошки. Одна з секцій

використовувалася для визначення середньої (інтегральної) кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи, а друга – для встановлення розподілу кінцевої вологості за товщиною дощок. Схема випилювання секцій для визначення кінцевої вологості термічно модифікованих дощок з деревини вільхи показана на рисунку 2.1.

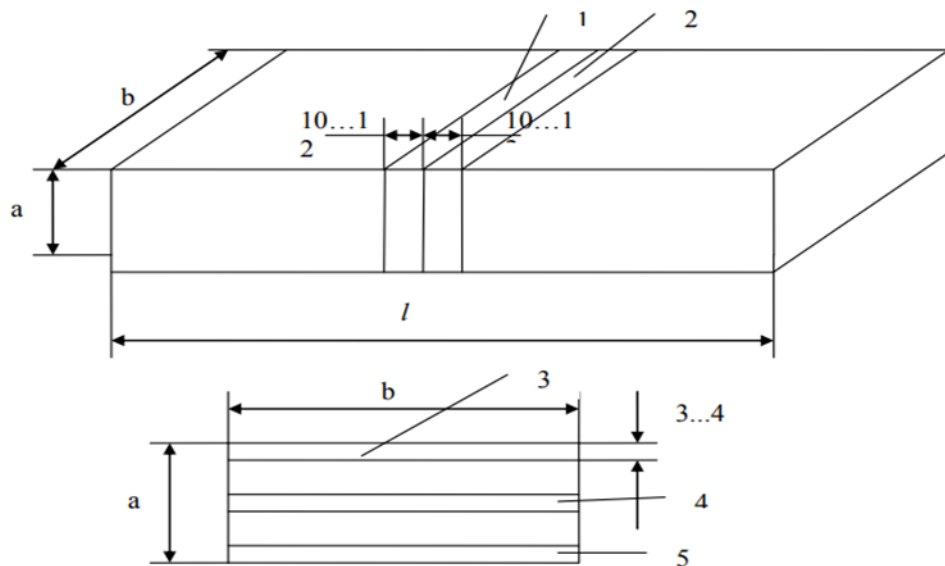


Рисунок 2.1. Схематичний рисунок для відбору секцій з середньої (інтегральної) кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи, а друга – для встановлення середньої (інтегральної) кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи, а друга – для встановлення розподілу кінцевої вологості за товщиною дощок. Внизу рисунка показана схема розколювання секції для встановлення розподілу кінцевої вологості за товщиною дощок.

Вимірювання вмісту води здійснювали ваговим способом згідно вимог чинних українських стандартів і європейського стандарту ISO 13061-2:2014.

Після випилювання секції вона нумерувалася для фіксації місця випилювання і способу розкрою дошки, радіальна чи тангентальна. В подальшому секцію зважували на аналітичній вазі з точністю до 0,001 грама. Результати зважування записували в журнал спостережень, а секцію поміщали в сушильну шафу. В сушильній шафі підтримувалася температура $103 \pm 2^\circ\text{C}$,

секція витримувалася в сушильній шафі протягом 6 годин для досягнення абсолютно сухого стану. Після висушування секція знову зважувалася на аналітичній вазі і результати заносили в журнал спостережень. За результатами зважувань секції до і після сушіння в сушильній шафі визначали абсолютну середню (інтегральну) кінцеву вологість термічно модифікованої деревини вільхи.

Секцію для визначення розподілу кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи розколювали на пластинки. Пластинки відколювали з двох країв секції і одну з центральної частини секції як показано на рисунку 2.1. Товщина пластинок становила 3-4 міліметри. Після відколювання пластинок їх нумерували, потім зважували на аналітичній вазі з точністю до 0,001 грама і поміщали в сушильну шафу на 6 годин. Після досягнення пластинками абсолютно сухого стану їх знову зважували і результати заносили в журнал спостережень. За отриманими значеннями ваги секцій до і після сушіння в сушильній шафі визначали значення кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи на поверхні і в центральній частині за товщиною полуматеріалів.

Такі дослідження виконували для пиломатеріалів радіального і тангентального розкрою.

2.2. Результати виробничих досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи.

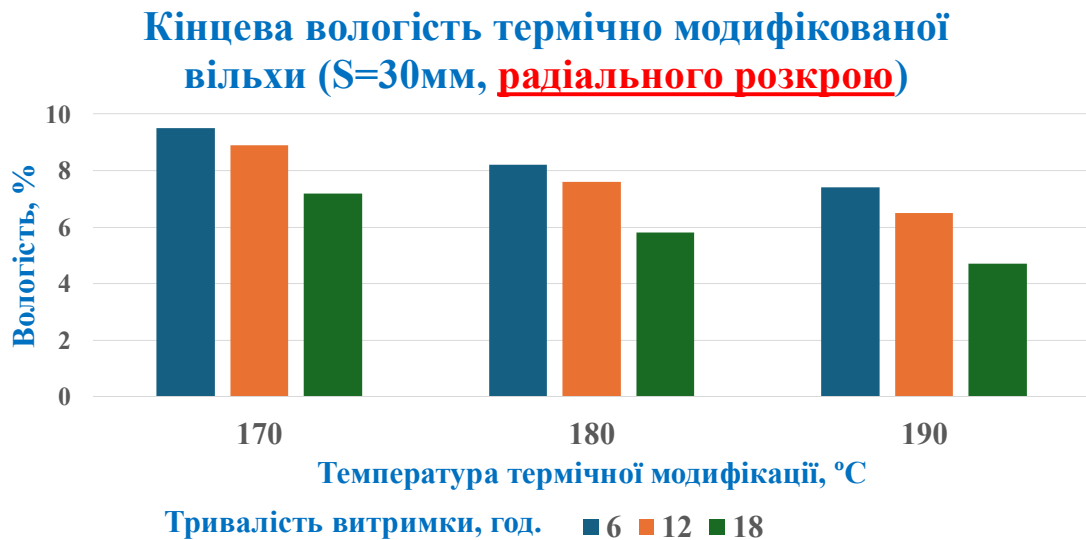
Після завершення виробничих експериментальних досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи проведено статистичне оброблення отриманих результатів. За результатами вимірювання кінцевої вологості в трьох зонах за висотою штабеля (внизу, посередині висоти і вверху), а також в трьох точках за довжиною кожної дошки які були відібрані для проведення виробничих експериментальних досліджень визначалося середньо арифметичне (інтегральне) значення кінцевої вологості. Окремо визначали значення кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових дощок радіального і тангентального розкрою. Залежність кінцевої вологості для дощок радіального розпилювання від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки за певної температури показана в таблиці 2.1.

Залежність кінцевої вологості для дощок радіального розпилювання від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки за певної температури

Таблиця 2.1.

Тривалість витримки, год.	Температура оброблення, °С		
	170	180	190
6	9,5	8,2	7,4
12	8,9	7,6	6,5
18	7,2	5,8	4,7

На рисунку 2.2. приведена графічна інтерпретація залежності кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових дощок радіального розпилювання від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки за певної температури.



10

Рисунок 2.2. Графічна інтерпретація залежності кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових дощок радіального розпилювання від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки за певної температури.

Натомість залежність кінцевої вологості для дощок тангентального розпилювання від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки за певної температури показана в таблиці 2.2.

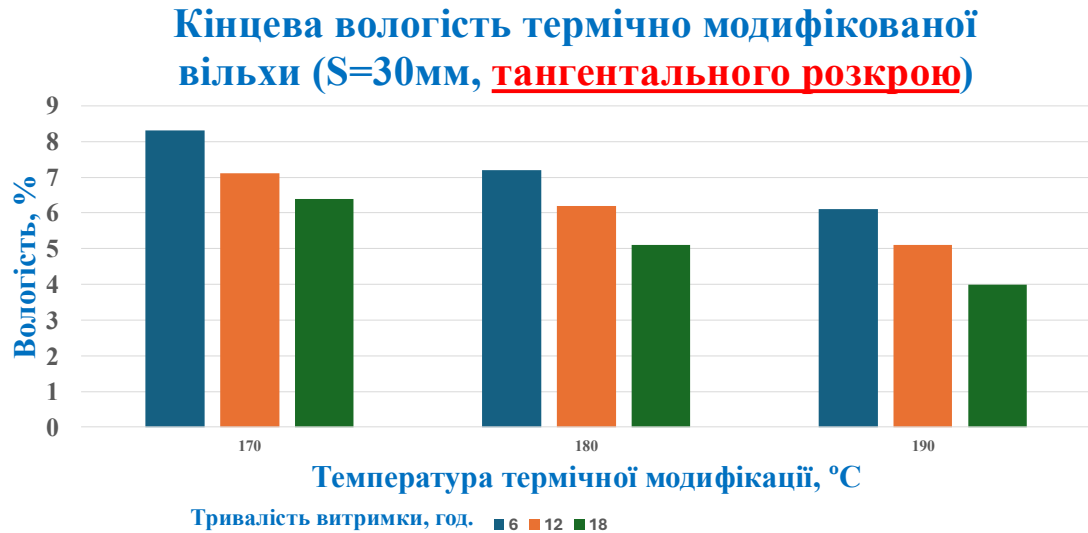
Залежність кінцевої вологості для дощок тангентального розпилювання від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки за певної температури

Таблиця 2.2.

Тривалість витримки, год.	Температура оброблення, °C		
	170	180	190
6	8,3	7,2	6,1
12	7,1	6,2	5,1
18	6,4	5,1	4

Відповідно графічна інтерпретація залежності кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових дощок тангентального розпилювання від

температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки за певної температури показана на рисунку 2.3.



11

Рисунок 2.3. Графічна інтерпретація залежності кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових дощок тангентального розпилювання від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки за певної температури.

Аналізуючи отримані результати можна константувати, що кінцева вологість вільхових пиломатеріалів термічно модифікованих вологим способом зменшується з збільшенням температури оброблення. Також зменшення кінцевої вологості спостерігається з збільшенням тривалості технологічної витримки за заданої температури термічної модифікації. Дану обставину необхідно враховувати з огляду того де в майбутньому будуть використовуватися вироби з термічно модифікованої деревини вільхи. Пояснити явище зменшення кінцевої вологості термічно модифікованої вільхи можна залежністю коефіцієнта вологопровідності деревини від температури. З зростанням температури коефіцієнт вологопровідності зростає, що приводить до інтенсивності процесу сушіння і, як наслідок, до зменшення вологості в процесі термічної модифікації. Підтвердженням даного

припущення можна побачити в тому, що пиломатеріали тангентального випилювання мають меншу кінцеву вологість в порівнянні з пиломатеріалами радіального випилювання за таких самих умов термічної модифікації. Причиною різниці в кінцевій вологості пиломатеріалів різної орієнтації є те, що коефіцієнт вологопровідності в радіальному напрямку суттєво більший в порівнянні з тангентальним.

Згідно порядку проведення виробничих експериментальних досліджень були отримані результати розподілу кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи за товщиною обролюваних пиломатеріалів. В таблицях 2.3; 2.4 і 2.5 приведені приклади розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових дощок за товщиною.

Розподіл кінцевої вологості у вільхових термічно модифікованих пиломатеріалах радіального розпилювання за товщиною при тривалості технологічної витримки 6 годин.

Таблиця 2.3.

Розподіл кінцевої вологості термовільхи за товщиною (витримка 6 год.)			
Температура, °C	Вологість в % за товщиною заготовки, мм		
	2	15	28
170	6,3	11,2	6,1
180	4,8	9,3	4,4
190	4,2	8,6	3,7

Розподіл кінцевої вологості у вільхових термічно модифікованих пиломатеріалах радіального розпилювання за товщиною при тривалості технологічної витримки 18 годин.

Таблиця 2.4.

Розподіл кінцевої вологості термовільхи за товщиною (витримка 18 год.)			
Температура, °C	Вологість в % за товщиною заготовки, мм		
	2	15	28
170	5,7	9,4	5,1
180	4,3	6,9	4,2
190	2,9	6,1	3,2

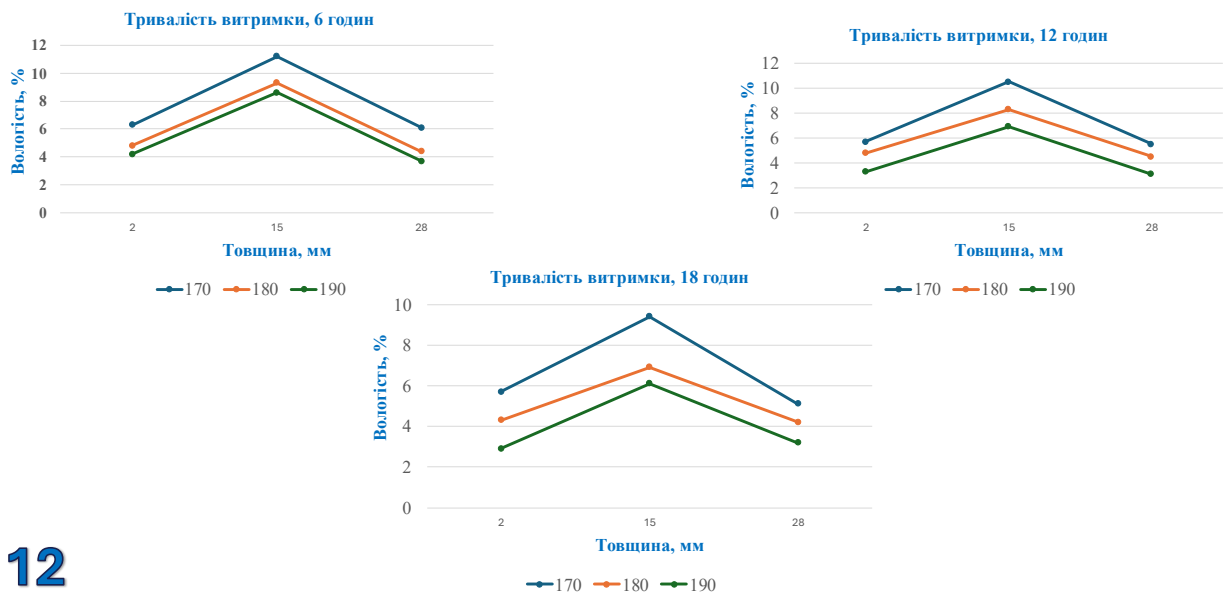
Розподіл кінцевої вологості у вільхових термічно модифікованих пиломатеріалах тангентального розпилювання за товщиною при тривалості технологічної витримки 12 годин.

Таблиця 2.5.

Розподіл кінцевої вологості термовільхи за товщиною (витримка 12 год.)			
Температура, °C	Вологість в % за товщиною заготовки, мм		
	2	15	28
170	5,4	8,6	5,2
180	4,8	7,4	4,5
190	3,8	6,1	3,4

На рисунках 2.4. і 2.5. показана графічна інтерпретація розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових пиломатеріалів за товщиною в залежності від температури оброблення і тривалості технологічної витримки.

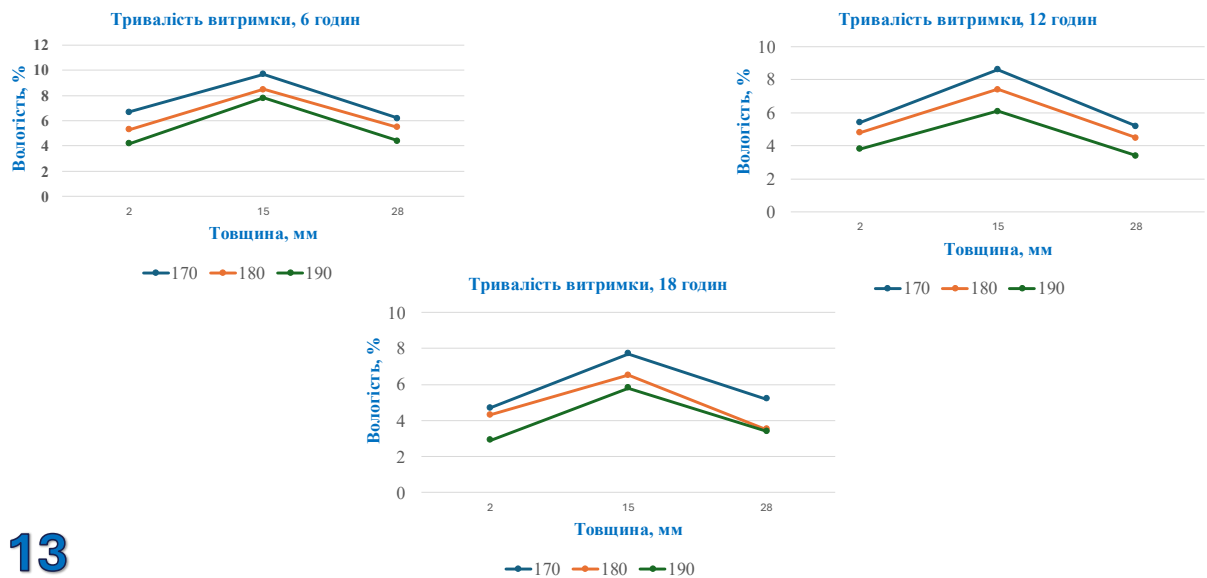
Розподіл кінцевої вологості за товщиною термічно модифікованих вільхових дощок радіального розкрою



12

Рисунок 2.4. Графічна інтерпретація розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових пиломатеріалів радіального розкрою за товщиною в залежності від температури оброблення і тривалості технологічної витримки.

**Розподіл кінцевої вологості за товщиною термічно модифікованих вільхових дощок
тангентального розкрою**



13

Рисунок 2.5. Графічна інтерпретація розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових пиломатеріалів тангентального розкрою за товщиною в залежності від температури оброблення і тривалості технологічної витримки.

Характер розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових пиломатеріалів за товщиною також підтверджує припущення, що вологопровідність деревини суттєво залежить від температури і напрямку руху вологи.

Виробничі експериментальні дослідження ставили перед собою мету стосовно досягнення необхідної кінцевої вологості вільхових термічно модифікованих пиломатеріалів вологим способом в залежності від умов подальшого використання виробів виготовлених з цієї деревини.

Для реалізації поставленої мети необхідно володіти інформацією стосовно зміни рівноважної вологості термічно модифікованої деревини для різних умов експлуатації. Характер залежності рівноважної вологості термічно модифікованої деревини (за різних температур модифікації) показаний на рисунку 2.6.



14

Рисунок 2.6. Залежність рівноважної вологості термічно модифікованої деревини від температури оброблення і відносної вологості оточуючого середовища.

Виходячи з цього, що рівноважна вологість термічно модифікованої деревини 2-3 рази менша в порівнянні з рівноважною вологістю необробленої деревини були запропоновані рівні кінцевої кінцевої вологості термодеревини в залежності від температури термічної модифікації і умов експлуатації [4;6]. Запропоновані рекомендації приведені в таблиці 2.6.

Рівні кінцевої кінцевої вологості термодеревини в залежності від температури термічної модифікації і умов експлуатації

Таблиця 2.6.

№ п/п	Умови експлуатації	Кінцева вологість термічно модифікованої деревини в %, в залежності від температури оброблення °С		
		205	195	165
1	Опалювані приміщення	3±1,0	4±1,0	5±1,0
2	Не опалювані приміщення	5±1,5	6±1,5	8±1,5
3	На відкритому повітрі	7±1,5	9±1,5	11±1,5

За результатами виробничих досліджень і користуючись приведеними рекомендаціями розроблені технологічні пропозиції стосовно тривалості технологічної витримки в процесі термічної модифікації деревини вільхи вологим способом в залежності від температури оброблення і умов експлуатації виробів в майбутньому.

2.3. Висновки і рекомендації

- приведені результати зміни хімічних і фізичних властивостей термічно модифікованої деревини вільхи вологим способом;
- розроблена методика виробничих досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи;
- виконане статистичне оброблення результатів виробничих експериментальних кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових пиломатеріалів;
- встановлена залежність кінцевої вологості від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки;
- приведені результати розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих пиломатеріалів за товщиною в залежності від умов термооброблення і способу ввипилювання;
- рекомендовані значення тривалості технологічної витримки для досягнення необхідної вологості термічно модифікованої деревини вільхи в залежності від умов подальшої експлуатації.

3. Охорона праці

3.1. Техніки безпеки з експлуатації термокамери.

Забезпечення безпечного та ефективного використання камера температури та вологості, що знаходиться всередині приміщення має вирішальне значення. Дотримання процедур безпеки є важливим для запобігання нещасним випадкам та підтримки функціональності обладнання. Викладено процедури безпечної експлуатації камер з контролем температури та вологості без попереднього запису, включаючи підготовку перед експлуатацією, запобіжні заходи під час експлуатації та ключові моменти технічного обслуговування та догляду за обладнанням.

I. Підготовка до роботи обладнання

Перевірте цілісність обладнання:

Перед початком роботи з камерою переконайтеся, що обладнання справне та неушкоджене. Перевірте всі панелі керування, датчики, вихлопні системи та інші компоненти, щоб переконатися в їхньому правильному функціонуванні.

Очистіть робочу зону:

Тримайте простір навколо обладнання чистим та вільним від сміття та перешкод, які можуть перешкоджати належній роботі камери.

Перевірте живлення та електричні з'єднання:

Переконайтеся, що підключення живлення обладнання безпечні та надійні. Перевірте електропроводку та розетки, щоб переконатися, що вони відповідають стандартам безпеки.

Прочитайте інструкцію з експлуатації:

Уважно прочитайте інструкцію з експлуатації камери, щоб зрозуміти процедури експлуатації, запобіжні заходи та заходи у разі надзвичайних ситуацій.

Запобіжні заходи під час експлуатації обладнання

Встановіть відповідну температуру та вологість:

Встановіть параметри температури та вологості відповідно до експериментальних вимог. Уникайте перевищення робочого діапазону обладнання, щоб запобігти несправності або пошкодженню.

Налаштуйте вентиляцію та витяжку:

Переконайтеся, що вентиляційні та витяжні системи обладнання не перекриваються, щоб підтримувати належну циркуляцію повітря та ефективний контроль вологості в камері.

Уникайте перевантаження та безладу:

Не розміщуйте надмірно важкі зразки чи предмети в камері, оскільки це може вплинути на нормальну роботу та безпеку обладнання.

Регулярний моніторинг та запис даних:

Регулярно контролюйте та записуйте дані про температуру та вологість під час роботи, щоб полегшити подальший аналіз та перевірити достовірність експериментальних результатів.

Дотримуйтеся попереджувальних знаків безпеки:

Звертайте увагу на попереджувальні знаки безпеки на обладнанні та дотримуйтеся відповідних вимог безпеки експлуатації, таких як попередження про високу температуру, коли кришка обладнання відкрита.

Ключові моменти технічного обслуговування та догляду за обладнанням

Регулярне очищення обладнання:

Відповідно до інструкцій з експлуатації, регулярно очищуйте внутрішні та зовнішні поверхні обладнання для видалення пилу, жиру та інших забруднень, підтримуючи гігієну та зовнішній вигляд обладнання.

Перевірте датчики та системи керування:

Регулярно перевіряйте датчики температури та вологості й системи керування, щоб забезпечити їхню точність і стабільність.

Обслуговування обладнання, аксесуарів та деталей:

Регулярно перевіряйте та замінійте аксесуари та деталі обладнання, такі як ущільнення та фільтри, щоб забезпечити їх належне функціонування та продовжити термін служби обладнання.

Періодичне калібрування обладнання:

Регулярно виконуйте калібрування та перевірку обладнання, як зазначено в інструкції з експлуатації, щоб забезпечити точність вимірювань та контролю.

Усунення несправностей та ремонт:

Якщо обладнання працює несправно або демонструє відхилення від норми, негайно припиніть його використання та зверніться до професійних техніків для ремонту та усунення несправностей.

Дотримання безпечних процедур експлуатації термокамер контролю температури та вологості є життєво важливим для забезпечення безпеки та ефективності обладнання. Підготуйте обладнання, перевіривши його цілісність та прочитавши інструкцію з експлуатації. Під час роботи встановіть відповідні параметри, підтримуйте вентиляцію, уникайте перевантаження та регулярно контролюйте дані.

Для технічного обслуговування та догляду за обладнанням регулярно очищуйте його, перевіряйте датчики та системи керування, обслуговуйте аксесуари, періодично калібруйте та своєчасно усувайте несправності. Дотримання цих процедур безпеки забезпечить безпечну роботу камер температури та вологості без попереднього запису та підвищить надійність та ефективність експериментів.

3.2. Екологічна безпека термічної модифікації деревини

Екологічна безпека термомодифікації (термодерева) зазвичай вважається високою, оскільки вона використовує лише тепло та пару, уникаючи токсичних хімікатів, що робить її безпечною для людей і довкілля. Цей процес підвищує довговічність, стабільність і стійкість до гниття деревини, зменшуючи потребу у заміні та хімічній обробці, сприяючи сталому розвитку, але вимагає ретельної оцінки життєвого циклу (LCA) для повного впливу, враховуючи енергоспоживання, викиди та кінець терміну служби.

Ключові екологічні переваги

Без хімікатів: Не використовуються токсичні консерванти, що запобігає хімічному проникненню в ґрунт або воду і робить його безпечним для босих ног на палубах.

Зменшення попиту на ресурси: Підвищена міцність продовжує термін служби деревини, зменшуючи потребу у заготівлі нової деревини та зберігаючи ресурси.

Сталий альтернативний варіант: Замінює тропічні листяні породи, зменшуючи тиск на вразливі тропічні ліси.

Біорозкладний: У кінці свого терміну життя це природний матеріал, на відміну від хімічно обробленої деревини.

Список використаних джерел

1. Андрашек Й. В. Мультимедійний конспект лекцій з дисципліни “Технологія сушіння і захист деревини” в форматі PDF. – Львів, 2024. – 715 с.
2. Андрашек Й.В., Максимів В.М., Петросюк О.М. Експериментальні дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясеня. Науковий вісник НЛТУ України, – Львів, 2019. № Вип. 29(2), 120-123. <https://doi.org/10.15421/40290224>.
3. Андрашек Й.В, Кушпіт О.М., Петросюк О.М. Дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясеня. Дев’ята міжнародна науково-практична конференція “Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем”, Том 1. 14 - 16 травня 2019 р. м. Чернігів. С. 209-211
4. Андрашек Й.В, Петросюк О.М. Математична модель зміни вологості в процесі кондиціювання термічно модифікованої деревини ясеня. The 2nd International scientific and practical conference — Topical issues of modern science, society and education (September 5-7, 2021) SPC — Sci-conf.com.ua, Kharkiv, Ukraine. 2021. 624 p.- с. 137-143.
5. Андрашек Й.В., Петросюк О.М., Моделювання полів вологості в процесі кондиціювання термічно модифікованої деревини ясеня. Науковий вісник НЛТУ України, – Львів, 2024. № Вип. 34(1), 91-96. <https://doi.org/10.36930/40340113>
6. Андрашек Й.В., Курка Р.Р., Петросюк О.М., Реалізація математичної моделі розподілу полів вологості в процесі кондиціювання термічно модифікованої деревини ясеня. Науковий вісник НЛТУ України, – Львів, 2024. № Вип. 34(2), 116-123. <https://doi.org/10.36930/40340215>

7. Андрашек Й.В., Щупаківський Р.Б. Аналіз зміни механічних властивостей термічно модифікованої деревини клена (*Acer pseudoplatanus* L.) та ялини звичайної (*Picea abies* K.) шляхом дослідження її пористої структури. Науковий вісник НЛТУ: зб. наук. - техн. праць. – Львів : НЛТУ. – 2012. – Вип. 22.01. – С. 97-100.
8. Горбачова О.Ю. Термічне модифікування деревини граба: автореф. канд. техн. наук: спец. 05.23.06 – «Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини». Київ, 2016. 24с.
9. Губер Ю.М., Ільків М.М., Гаврилюк Л.А. Експериментальні дослідження зміни кольору деревини ясеня в процесі вакуумно-кондуктивного термічного оброблення. Науковий вісник НЛТУ України : зб. 133 наук.-техн. праць НЛТУ України. – Львів : НЛТУ України, 2011. – №Вип.п21.8. – С.115-129.
10. Кійко О.А. Статистичні методи підвищення якості продукції деревооброблення. – Львів: Панорама. – 228 с.
11. Кшивецький Б.Я., Дацків Г.М., Андрашек Й.В. Загальні відомості про клеї, склеювання та термічно модифіковану деревину. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. – 2019. Т. 25.9, №3 – С. 81-85.
12. Максимів В.М., Андрашек Й.В., Щупаківський Р.Б. Використання методу високочастотної денситометрії для оцінки зміни щільності деревини дуба при термічному модифікуванні в середовищі вуглекислого газу. Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. - техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – вип.10 – С.83-90.
13. Щупаківський Р.Б. Закономірності термічного модифікування деревини дуба у вуглекислому газі: дис. канд. тех. наук: 05.23.06. – Львів, 2013. – 164 с.

14. ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ Інженерне обладнання будинків і споруд ЗАХИСНІ ЗАХОДИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ БУДИНКІВ І СПОРУД ДБН В.2.5-27-2006
15. ПРАВИЛА УЛАШТУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://misksvitlo.if.ua/wp-content/uploads/2015/09/Правила-улаштування-електроустановок.pdf>
16. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : http://www.techno-cobalt.com.ua/up/files/normativna_baza/files/pozharka/napb.pdf
17. Про затвердження Типових норм належності вогнегасників (НАПБ Б.03.001-2004) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0554-04>
18. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2004) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1410-04>
19. ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ. ДБН В.2.5-28-2006 / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до докум. : <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf>
20. Alen, R., Kotilainen, R., and Zaman, A. (2002). “Thermochemical behavior of Norwayt spruce (*Picea abies*) at 180 °C to 225 °C,” *Wood Sci. Technol.* 36(2), 163-171. DOI: 10.1007/s00226-001-0133-1
21. Dudiak, M.; Dzurenda, L. Changes in the Physical and Chemical Properties of Alder Wood in the Process of Thermal Treatment with Saturated Water Steam. *Coatings* 2021, 11, 898. [CrossRef]

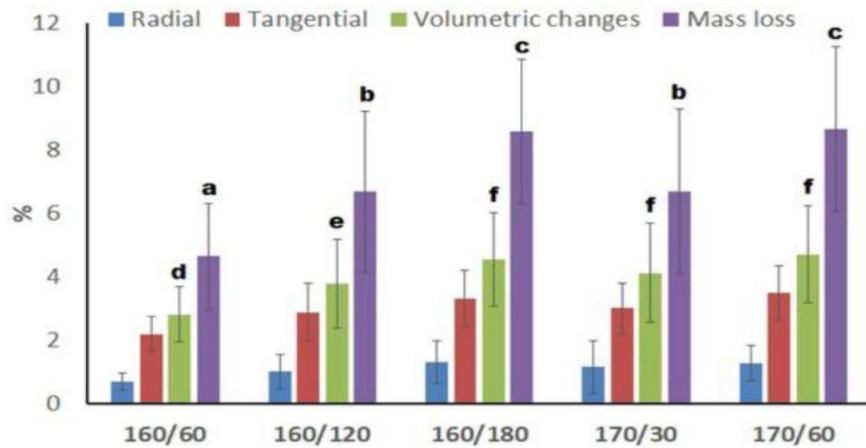
22. Bor ° uvka, V.; Zeidler, A.; Hole ˇ cek, T. Comparison of Stiffness and Strength Properties of Untreated and Heat-Treated Wood of Douglas Fir and Alder. *BioResources* 2015, 10, 8281–8294. [CrossRef]
23. Kesik, H.I.; Korkut, S.; Hiziroglu, S.; Sevik, H. An Evaluation of Properties of Four Heat Treated Wood Species. *Ind. Crops Prod.* 2014, 60, 60–65. [CrossRef]
24. Salca, E.-A.; Hiziroglu, S. Evaluation of Hardness and Surface Quality of Different Wood Species as Function of Heat Treatment. *Mater. Des. (1980–2015)* 2014, 62, 416–423. [CrossRef]
25. Yildiz, S.; Yildiz, U.C.; Tomak, E.D. The Effects of Natural Weathering on the Properties of Heat-Treated Alder Wood. *BioRes* 2011, 6, 2504–2521.
26. D’Auria, M.; Lovaglio, T.; Rita, A.; Cetera, P.; Romani, A.; Hiziroglu, S.; Todaro, L. Integrate Measurements Allow the Surface Characterization of Thermo-Vacuum Treated Alder Differentially Coated. *Measurement* 2018, 114, 372–381.
27. Sandak, J.; Goli, G.; Cetera, P.; Sandak, A.; Cavalli, A.; Todaro, L. Machinability of Minor Wooden Species before and after Modification with Thermo-Vacuum Technology. *Materials* 2017, 10, 121.
28. Bekhta, P.; Proszky, S.; Lis, B.; Krystofiak, T. Gloss of Thermally Densified Alder (*Alnus glutinosa* Goertn.), Beech (*Fagus sylvatica* L.), Birch (*Betula verrucosa* Ehrh.), and Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood Veneers. *Eur. J. Wood Prod.* 2014, 72, 799–808.
29. Salca, E.-A.; Kobori, H.; Inagaki, T.; Kojima, Y.; Suzuki, S. Effect of Heat Treatment on Colour Changes of Black Alder and Beech Veneers. *J. Wood Sci.* 2016, 62, 297–304.
30. Tufan, M.; Güleç, T.; Pe, sman, E.; Ayrilmis, N. Technological and Thermal Properties of Thermoplastic Composites Filled with Heat-Treated Alder Wood. *BioResources* 2016, 11, 3153–3164.

31. Liu, H.; Li, Z.; Zhang, X.; Tang, B.; Wan, C.; Wang, K. The Effect of Different Moderate Thermal Modification Durations on the Wood Properties of American Alder. *Materials* 2022, 15, 8839.
32. Lovaglio, T.; Gindl-Altmutter, W.; Meints, T.; Moretti, N.; Todaro, L. Wetting Behavior of Alder (*Alnus cordata* (Loisel) Duby) Wood Surface: Effect of Thermo-Treatment and Alkyl Ketene Dimer (AKD). *Forests* 2019, 10, 770.
33. Liu, Y.; Rahimi, S.; Avramidis, S.; Nasir, V. Stiffness and Hardness of Thermally Modified Timber Assessed with Explainable Machine Learning. *Constr. Build. Mater.* 2024, 452, 138956.
34. ISO 13061-1; Physical and Mechanical Properties of Wood—Test Methods for Small Clear Wood Specimens—Part 1: Determination of Moisture Content for Physical and Mechanical Tests. ISO: Geneva, Switzerland, 2014.
35. ISO 13061-2; Physical and Mechanical Properties of Wood—Test Methods for Small Clear Wood Specimens—Part 2: Determination of Density for Physical and Mechanical Tests. ISO: Geneva, Switzerland, 2014.
36. Sosins, G.; Grinins, J.; Brazdausks, P.; Zicans, J. Aspen Wood Characteristics Following Thermal Modification in Closed Process Under Pressure in Nitrogen. *Materials* 2024, 17, 5930.
37. Sosins, G.; Grinins, J.; Brazdausks, P.; Zicans, J. Water-Related Properties of Wood after Thermal Modification in Closed Process under Pressure in Nitrogen. *Forests* 2024, 15, 140.
38. Grinins, J.; Sosins, G.; Irbe, I.; Zicans, J. Weathering Resistance of Wood Following Thermal Modification in Closed Process Under Pressure in Nitrogen. *Forests* 2025, 16, 132.
39. ISO 13061-3; Physical and Mechanical Properties of Wood—Test Methods for Small Clear Wood Specimens—Part 3: Determination of Ultimate Strength in Static Bending. ISO: Geneva, Switzerland, 2014.

40. ISO 13061-4; Physical and Mechanical Properties of Wood—Test Methods for Small Clear Wood Specimens—Part 4: Determination of Modulus of Elasticity in Static Bending. ISO: Geneva, Switzerland, 2014.
41. EN 1534; Wood and Parquet Flooring—Determination of Resistance to Indentation (Brinell)—Test Method. ASRO: Brussels, Belgium, 2000.
42. Sluiter, A.; Hames, B.; Ruiz, R.; Scarlata, C.; Sluiter, J.; Templeton, D.; Crocker, D. NREL/TP-510-42618: Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass. Laboratory Analytical Procedure (LAP); NREL: Denver, CO, USA, 2012.
43. Sluiter, A.; Hames, B.; Ruiz, R.; Scarlata, C.; Sluiter, J.; Templeton, D. NREL/TP-510-42622: Determination of Ash in Biomass. Laboratory Analytical Procedure (LAP); NREL: Denver, CO, USA, 2005.
44. Biziks, V.; Andersons, B.; Sansonetti, E.; Andersone, I.; Militz, H.; Grinins, J. One-Stage Thermo-Hydro Treatment (THT) of Hardwoods: An Analysis of Form Stability after Five Soaking-Drying Cycles. *Holzforschung* 2015, 69, 563–571.
45. Grinins, J.; Sosins, G.; Brazdausks, P.; Zicans, J. Chemical Composition and Mechanical Properties of Wood after Thermal Modification in Closed Process under Pressure in Nitrogen. *Materials* 2024, 17, 1468.
46. Sivonen, H.; Maunu, S.L.; Sundholm, F.; Jämsä, S.; Viitaniemi, P. Magnetic Resonance Studies of Thermally Modified Wood. *Holzforschung* 2002, 56, 648–654.
47. Gawron, J. Influence of Environment, Temperature and Time of the Thermal Modification of Ash Wood (*Fraxinus excelsior* L.) on the Cellulose Weight Average Degree of Polymerization. *Ann. WULS SGGW For. Wood Technol.* 2021, 116, 39–45.

Додатки

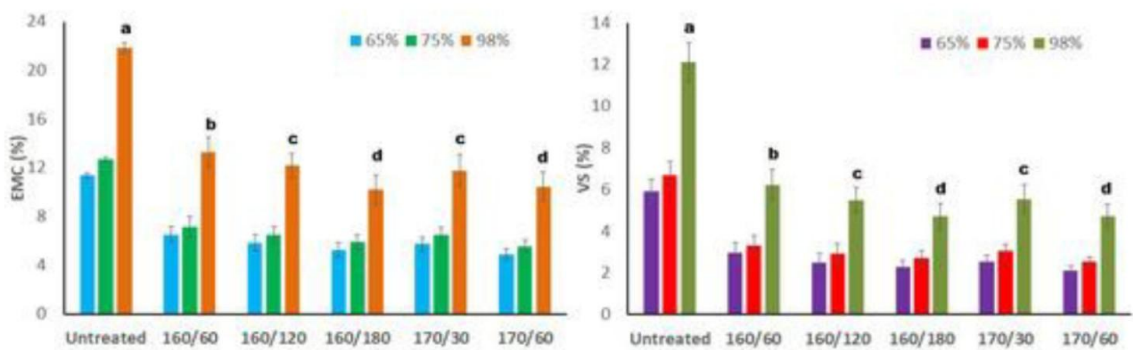
Фізико-механічні властивості термічно модифікованої деревини вільхи



Зміни розмірів деревини вільхи в тангентальному та радіальному напрямках, а також зміни об'єму та густини після термічної модифікації. Відмінності у втраті ваги позначені літерами a, b та c, тоді як відмінності у зміні об'єму позначені літерами d, e та f.

2

Фізико-механічні властивості термічно модифікованої деревини вільхи



Рівноважна вологість (EMC) та об'ємне набування (VS) термічно модифікованої деревини вільхи за різної відносної вологості. Відмінності за відносної вологості 98% позначені літерами a, b, c та d.

3

Хімічний склад деревини вільхи немодифікованої і термічно модифікованої

Режими термо- модифікації	Хімічні компоненти (%)					
	Ацетонові екстракти	Лігнін	Глюкан	Ксилан	Маннан	Ацетильні групи
Необроблені	2,6 ± 0,2	27,1 ± 0,3	43,9 ± 0,1	16,8 ± 0,1	1,5 ± 0,1	4,1 ± 0,1
160/60	4,9 ± 0,2 *	28,3 ± 0,4 *	46,6 ± 0,6 *	15,2 ± 0,1 *	1,2 ± 0,1 *	3,1 ± 0,1 *
160/120	6,2 ± 0,1 *	27,7 ± 0,4	45,6 ± 0,2 *	14,3 ± 0,1 *	1,2 ± 0,1 *	2,7 ± 0,1 *
160/180	8,7 ± 0,2 *	28,8 ± 0,1 *	47,4 ± 0,1 *	12,1 ± 0,1 *	0,9 ± 0,1 *	2,1 ± 0,1 *
170/30	5,7 ± 0,1 *	28,9 ± 0,2 *	46,0 ± 0,3 *	13,8 ± 0,1 *	1,0 ± 0,1 *	2,3 ± 0,1 *
170/60	8,9 ± 0,2 *	28,3 ± 0,1 *	46,7 ± 0,1 *	12,4 ± 0,1 *	1,1 ± 0,1 *	2,3 ± 0,1 *

3

Продукція ТзОВ “Дерево і профіль”



5

Термокамера ТзОВ “Дерево і профіль”



6

Мета роботи – розробити рекомендації для досягнення необхідної кінцевої вологості в процесі термічного модифікування деревини вільхи вологим способом.

Об'єкт дослідження – виробничий процес термічного модифікування деревини вільхи вологим способом.

Предмет дослідження – кінцева вологість і розподіл її за товщиною термічно модифікованої деревини вільхи.

7

Задачі досліджень:

- за результатами літературного огляду встановити закономірності зміни хімічних і фізичних властивостей деревини вільхи в процесі термічної модифікації;
- розробити методику досліджень кінцевої вологості деревини вільхи в процесі термічної модифікації вологим способом;
- виконати виробничі дослідження з розподілу полів кінцевої вологості за товщиною в процесі термічної модифікації деревини вільхи вологим способом;
- зробити статистичне оброблення результатів виробничих експериментальних досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи;
- запропонувати технологічні рекомендації щодо досягнення необхідної кінцевої вологості деревини вільхи в процесі термічного модифікування вологим способом.

8

Кінцева вологість термічно модифікованої деревини вільхи (товщина дощок -30мм)

Радіального розкрою

Тривалість витримки, год.	Температура оброблення, °С		
	170	180	190
6	9,5	8,2	7,4
12	8,9	7,6	6,5
18	7,2	5,8	4,7

Тангентального розкрою

Тривалість витримки, год.	Температура оброблення, °С		
	170	180	190
6	8,3	7,2	6,1
12	7,1	6,2	5,1
18	6,4	5,1	4

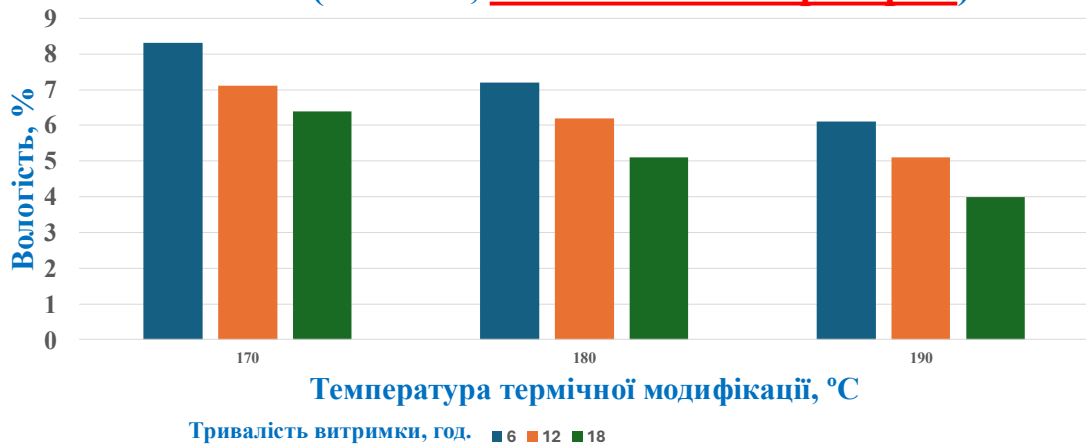
9

**Кінцева вологість термічно модифікованої
вільхи (S=30мм, радіального розкрою)**



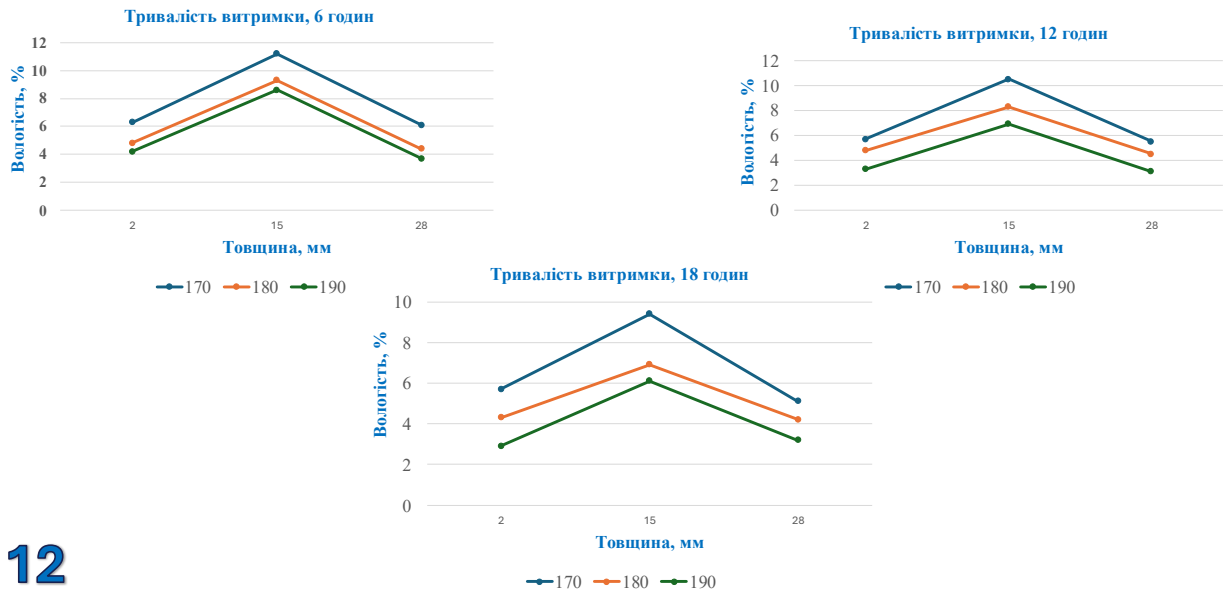
10

**Кінцева вологість термічно модифікованої
вільхи (S=30мм, тангентального розкрою)**



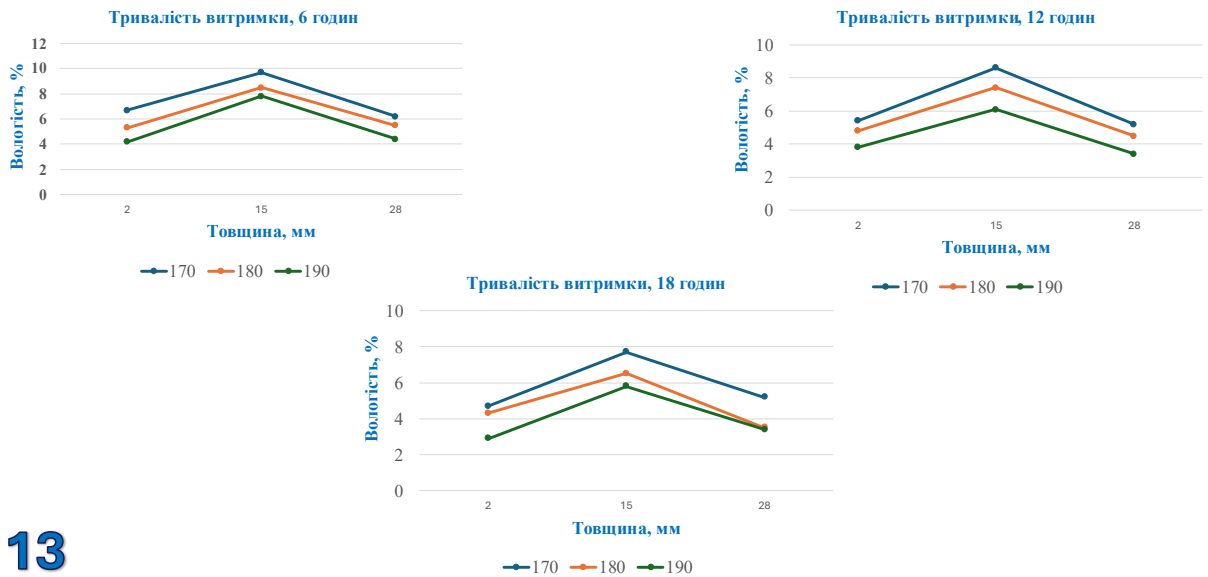
11

Розподіл кінцевої вологості за товщиною термічно модифікованих вільхових дощок радіального розкрою



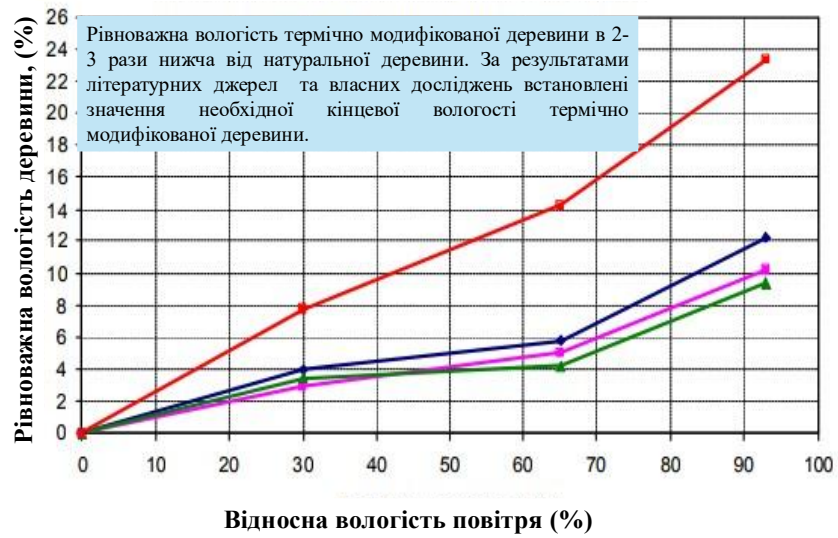
12

Розподіл кінцевої вологості за товщиною термічно модифікованих вільхових дощок тангентального розкрою



13

РІВНОВАЖНА ВОЛОГІСТЬ, ВІЛЬХА



14

Значення кінцевої вологості термічно модифікованої деревини

в залежності від температури термічного оброблення і умов експлуатації

№ п/п	Умови експлуатації	Кінцева вологість термічно модифікованої деревини в %, в залежності від температури оброблення °С		
		205	195	165
1	Опалювані приміщення	3±1,0	4±1,0	5±1,0
2	Не опалювані приміщення	5±1,5	6±1,5	8±1,5
3	На відкритому повітрі	7±1,5	9±1,5	11±1,5

15

Висновки і рекомендації

- приведені результати зміни хімічних і фізичних властивостей термічно модифікованої деревини вільхи вологим способом;
- розроблена методика виробничих досліджень кінцевої вологості термічно модифікованої деревини вільхи;
- виконане статистичне оброблення результатів виробничих експериментальних кінцевої вологості термічно модифікованих вільхових пиломатеріалів;
- встановлена залежність кінцевої вологості від температури термічної модифікації і тривалості технологічної витримки;
- приведені результати розподілу кінцевої вологості термічно модифікованих пиломатеріалів за товщиною в залежності від умов термооброблення і способу ввипилювання;
- рекомендовані значення тривалості технологічної витримки для досягнення необхідної вологості термічно модифікованої деревини вільхи в залежності від умов подальшої експлуатації.